

Hodnocení práce od prof. Ivana Wilhelma:

----- Original Message -----

**From:** Wilhelm Ivan <<mailto:Ivan.Wilhelm@msmt.cz>>

**To:** Barbora Kosikova <<mailto:kosici.doma@seznam.cz>>

**Sent:** Monday, June 23, 2008 1:31 PM

**Subject:** Re: poděková ní

Mila pani Barboro,  
dekuji za Vas mail. Chtel jsem si precist seminarni praci Matyase a tak moje odpoved ma ponekud zpozdeni. Nicmene jsem to jiz precetl, par poznamek jsem do textu zaradil, ale vsechno jsou to drobnosti. Celkove je to dobra prace a myslim, ze i Matyas z ni ma dobry pocit.  
Pokud jde o cinnost MSMT, resp. jistou kritiku na jeho vysledky, pak ja s tim nemam vubec zadny problem. Muj urad, ktery se tyka programu vyzkumu EU ma zazemi na MSMT a tak to je vse, co ja mam do cineni s timto organem. Bohuzel mate pravdu, ze zminena pomoc mimoriadne nadanym detem u nas specializovana doposud neni. Matyas je vsak velmi samostatny zak a v ramci pristupu k informacim pres internet se muze mnoho veci dovedet. Obcasna konzultace s lidmi, kteri v pracuji v danyh oborech mu samozrejme prospeje. Tak doufam, ze se s nim opet nekdy uvidim.  
S pozdravy  
Vas

iwi

On 15.4.2008 22:51, "Barbora Kosikova" <[kosici.doma@seznam.cz](mailto:kosici.doma@seznam.cz)> wrote:

Vážený pane profesore,

ještě jednou děkuji za to, jak jste se nám (hlavně Matyášovi) věnoval. Bylo to moc milé a pro Matyáše ohromně zajímavé a poučné.

Potom, co jsem si pozorně prohlédla Vaši vizitku se ještě omlouvám za poněkud tvrdá slova na adresu MŠMT, ale myslím, že si je ministerstvo právem zaslouží. Sice už pro nadané děti něco málo udělalo, ale v praxi to je bohužel opravdu málo. A především mají lidé z ministerstva pocit, že stačí, když se nadaným dětem začne pomáhat až na druhém stupni ZŠ, lépe ještě na střední škole. To už ale je pozdě - Matyáš několik prvních let bral školu jako něco, co ho zdržuje od vzdělávání. A já si pořád myslím, že by zájmem státu mělo být podchycovat takové talenty a ne deprimovat nevhodnou formou výuky.

Často se stává, že lidé (bohužel i různí odborníci) nerozlišují mezi dětmi nadprůměrnými a mimořádně nadanými. Děti nadprůměrné jsou potěšení rodičů i učitelů, děti mimořádně nadané mívají zvláště zpočátku (nejvíce do konce prvního stupně ZŠ) mnoho velmi specifických problémů, daných velkým rozdílem mentálního a fyzického věku. Učitelé ani pracovníci Pedagogicko-psychologických poraden s nimi však většinou neumí pracovat ani rodičům poradit. Mám s tím třináctileté zkušenosti a zrovna minulý týden jsem o nich povídala a na konferenci v Bratislavě, která se konala k 10. výročí založení Školy pre mimoriadne nadané. Nejen že v Bratislavě takovou školu mají již deset let, ale má pobočky po celém Slovensku - tady máme co dohánět. Ale to by bylo na dlouhé povídání.

Připojuji Matyášovu seminární práci o jaderných elektrárnách, kdybyste měl chuť se na ni podívat. Napsal ji sám, zdroje informací si našel také sám (z knížek a internetu). Manžel mu jen opravil pár čárek.

Přeji hezké jarní dny - a děkujeme!

Barbora Kosíková

# Atomová



# Energie

(autor : Matyáš Kosík)

## Obsah :

- ☢ Úvod
- ☢ CO je RADIOAKTIVITA ???
- ☢ Využití radioaktivity a radioaktivních prvků
- ☢ Historie jaderného výzkumu a výzkumu radioaktivity
- ☢ Princip jaderných reakcí + Princip Atomových elektráren
- ☢ -Jaderné ŠTEPENÍ a jaderná SYNTÉZA
- ☢ - Typy reaktorů a jejich vlastnosti
- ☢ [Výhody jaderných elektráren](#)
- ☢ Na co dávat pozor (na lidi...) - Havárie v černobylu
- ☢ Závěr -
- ☢ PROČ se lidé bojí jaderných elektráren (a proč si myslím, že to je nesmysl)
- ☢ Budoucnost (232 Th...)
- ☢ [Mýty a odpovědi](#)
- ☢ Shrnutí
- ☢ Zdroje aneb na co a kam se podívat

# 1. Úvod.

Rozhodl jsem se psát tuto práci, protože si myslím, že o jaderné energii koluje dost pověr polopравd a omylů. Např. lidi si myslí, že reaktory jsou nebezpečné, ale to nebezpečné na nich je hlavně možnost lidského selhání. Ta se ovšem může snížit v tom případě, pokud u reaktorů budou pracovat kvalifikovaní a opatrní lidé. Uvést to vše na pravou míru je velice zajímavé téma na seminární práci. V této práci se například dozvíte: kdo první spustil řízenou řetězovou reakci, co se stalo 26. dubna 1986, jaké jsou různé typy reaktorů, jak pracují jaderné reaktory na  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{239}\text{Pu}$  či o přeměnách atomu na jiný, což vyvrátilo základ chemie a mnoho dalšího.

## 2. CO je Radioaktivita ???

Radioaktivita je způsobená tím, že pro některé izotopy různých prvků není jejich (energetický) stav výhodný.

Můžou použít různé typy radioaktivního rozpadu, aby v jednom či více krocích dosáhly stability – např. Tritium  $^3_1\text{H}$  (nejtěžší vodík) se v jednom kroku rozpadá beta- rozpadem na helium  $^3_2\text{He}$ , které je stabilní. Ale např. Uran  $^{238}_{92}\text{U}$  (nejtěžší přírodní izotop ve větším množství na zemi) se rozpadá dlouhou rozpadovou řadou:

$^{238}\text{U}$ ---alfa--- $^{234}\text{Th}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{234}\text{Pa}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{234}\text{U}$ ---alfa--- $^{230}\text{Th}$ ---alfa--- $^{226}\text{Ra}$ ---alfa--- $^{222}\text{Rn}$ ---alfa--- $^{218}\text{Po}$ ---alfa--- $^{214}\text{Pb}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{214}\text{Bi}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{214}\text{Po}$ ---alfa--- $^{210}\text{Pb}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{210}\text{Bi}$ ---beta<sup>-</sup>--- $^{210}\text{Po}$ ---alfa--- $^{206}\text{Pb}$  – stabilní

Celkem existují 4 rozpadové řady:

Uranová končící olovem  $^{206}\text{Pb}$

Aktinuranová končící olovem  $^{207}\text{Pb}$

Thoriová končící olovem  $^{208}\text{Pb}$

Neptuniová končící bismutem  $^{209}\text{Bi}$  (ten je však taky alfa radioaktivní – ale s poločasem rozpadu přibližně  $2 \times 10^{19}$  let s výsledkem  $^{205}\text{Tl}$ )

## Typy (přírodního) Radioaktivního rozpadu:

-----  
-----

**α** = nejméně nebezpečný typ záření (pro člověka, ze zdravotního hlediska), vzduchem proniká jen asi 7 cm, živou tkáň jen asi 1-2 mm – takže ve člověku může natropit škodu jedině ve plicích (při vdechnutí), kde je obrovská plocha komůrek (proto není nebezpečné vypít radonovou vodu, ale trochu nebezpečné se jí sprchovat). Zastaví se i člověku o ruku nebo třeba o list papíru. α částice je vlastně jádro atomu Helia  $^4_2\text{He}$  (které si potom někde „ukradne“ 2 elektrony). El. náboj alfa záření je  $2+$ .

a záření má také při srážce s jádrem jiného atomu schopnost ho aktivovat (udělat z něj zářič). a radioaktivní je např. Americium  $^{241}\text{Am}$ , Thorium  $^{230}\text{Th}$ , Plutonium - každý izotop kromě  $^{240}\text{Pu}$  a každý izotop Uranu, kromě  $^{237}\text{U}$  a  $^{239}\text{U}$ , Radium  $^{226}\text{Ra}$ , Radon  $^{222}\text{Rn}$ , Polonium  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$  i  $^{210}\text{Po}$  a další...

**$\beta^-$** =více nebezpečný typ záření (z hlediska poškození zdraví člověka), vzduchem proniká asi 30 cm, zastaví se např. o hliník (fólie – plech – podle energie). Jedná se o elektron vystřelený z (jádra) atomu velkou rychlostí. Při beta přeměně se neutron změní v proton\* a vystřelí elektron ( $e^-$ ) a elektronové antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ ). Tento rozpad zprostředkovává boson  $W^-$ .

Elektrický náboj tohoto záření je **-1e**.

- mezi *b zářiče patří např. Thorium  $^{231}\text{Th}$ , Bismut  $^{214}\text{Bi}$  i  $^{210}\text{Bi}$ , Olovo  $^{214}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Pb}$  nebo např. Kobalt  $^{60}\text{Co}$  a dokonce i nejméně radioizotop Tritium a další...*

Beta rozpad existuje i  $\beta^+$  (v podstatě opak  $\beta^-$ ) - ale ten je o hodně méně častý. Při  $\beta^+$  rozpadu\*\* se proton změní v neutron. Protonové číslo tedy **KLESNE** o 1, ale hmotnost (hmotové číslo) atomu se nezmění. Při  $\beta^+$  rozpadu se vyzáří pozitron a elektronové neutrino.  $\beta^+$  je např. sodík  $^{22}\text{Na}$ , který se rozpadá na neon  $^{22}\text{Ne}$ , nebo fosfor  $^{30}\text{P}$ , který se rozpadá na křemík  $^{30}\text{Si}$ .

Zprostředkovává ho boson  $W^+$

**$\gamma$** =skoro nejnebezpečnější záření, vzduchem proniká podle energie až desítky metrů, zastaví ho jen stěna z olova nebo obrovský kus betonu. Toto záření není částice, ale jedná se o rozkmitání elektronů (elektromagnetické vlnění). Pokud si člověk kus  $\gamma$  radioaktivního prvku přiváže k ruce, způsobí v něm kmitání elektronů porušení vazeb mezi atomy, a tím pádem rozklad sloučenin v jeho těle (pokud to ovšem někdo udělá, na ozářeném místě se mu objeví červená popálenina-takovou věc zkoušel např. Pierre Curie s kusem radia)

*-většina a i b zářičů je i  $\gamma$  radioaktivní. Nebo je produkt jiného rozpadu ve vyšším energetickém stavu a tak ze sebe vyzáří vysokoenergetický foton (gama paprsek) ( $^{60}\text{Co}$  --- beta--- $^{60}\text{Ni}$ \*\*\* ---gama--- $^{60}\text{Ni}$ ).*

**Neutron**=úplně nejnebezpečnější typ záření. Štěpí jádra těžkých atomů, a aktivuje většinu atomů, co se při srážce s neutronem nerozštěpí. Při štěpení atomů neutrony vznikají často (pro člověka) velice nebezpečné izotopy (a nezářička i několik dalších neutronů). Nejlépe se zpomaluje materiály s vysokým obsahem vodíku (např. beton ?), ale úplně nejlépe ho zpomaluje voda. Neutron se totiž zpomaluje tzv. elastickou srážkou s protonem (jádro vodíku). (Z tohoto důvodu je podle mě dobré, když je reaktor s vrstvou vody.)

- uvolňuje se při štěpení (např.  $^{235}\text{U} = ^{139}\text{Ba}, ^{94}\text{Kr} + 2 \text{ neutrony}$ )

- uvolňuje se při samovolném štěpení

- uvolňuje se při přesycení atomu neutrony

Neutron nejvíce neštěpně pohlcují tyto prvky: Beryllium, Bór (obsažený v (a také) kyselin(a)é borit(a)é  $\text{H}_3\text{BO}_3$  a jeho karbid  $\text{B}_4\text{C}_3$ ), a kadmium (+ jeho sole). V reaktorech se dnes využívá hlavně beryllium a karbid boritý jako řídicí tyče a v reaktorech VVER (např. Temelín či Dukovany) je v chladicí vodě rozpuštěno měnitelné množství  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .

Jako neutronový zdroj se např. dá použít kalifornium (např.  $^{25(1)2}\text{Cf}$ ) nebo trubice s práškovým berylliem  $^9\text{Be}$  plněná radonem  $^{222}\text{Rn}$

Při přesycení atomu protony, se uvojuje proton, který je ovšem kladně nabitý s trochu jinými vlastnostmi.

\* = neutron se skládá ze 2 down (dolů) kvarků a 1 up (nahoru) kvarku.  $\beta^-$  přeměnou 1 down kvarku na up kvark zprostředkovanou bosonem  $W^-$  se za současného uvolnění elektronu  $e^-$  a antineutrino se změní elektrický náboj celého baryonu z 0 na +1, čímž se neutron změní v proton.

\*\* = proton se skládá ze 2 up (nahoru) a 1 down (dolů) kvarku.  $\beta^+$  přeměnou 1 up kvarku na down kvark zprostředkovanou bosonem  $W^+$  se za současného uvolnění pozitronu  $e^+$  a neutrino se změní elektrický náboj celého baryonu z +1 na 0, to znamená, že se proton změnil na neutron

### 3. Využití radioaktivity a radioaktivních prvků.

1. Jaderná štepná energetika (Viz. další kapitoly)
2. Lékarství (léky, léčba, **diagnostika**, kontrola)
3. Vedecké účely – ozarování a výroba „transuranů“
4. Průmyslové účely (ozarování krystalů kremíku pro polovodiče či detektory kouře)
5. Výroba prerostlých hub

#### 2. Radioléky aneb radioaktivita podávaná v malých dávkách neškodí v jakémkoliv množství.

Radioaktivní prvek se podává pacientovi před rentgenováním různých nemocí kvůli jejich zviditelnění (např. nádory) – např. krypton  $^{85}\text{Kr}$ . **To patří k diagnostickým metodám v medicíně.** Kobaltový gamanůž s 201 zářiči ( $^{60}\text{Co}$ -beta $^-$ ) se používá pro léčbu nádorů na místech, kde nejdou vyříznout **mechanicky** (na mozku). Gamanožem se nádoru přeřízne vyživování – gama záření rozkládá molekuly. Avšak radioaktivita pomáhá i na klouby – ničí poškozené struktury, čímž tělo donutí k jejich opravě. Účinek smolince jsem si sám vyzkoušel – když jsem si ho držel 10 minut nad kolenem, úplně mě přestalo bolet a účinek vydržel až do teď. **BEZ DOHLEDU LÉKAŘE NELZE ANI PROVÁDĚT, ANI NĚKOMU RADIT !!!!!**

### 3. Transurany.

Transurany – neptunium ( $_{93}\text{Np}$ ) je prvním z nich – některé mají i přes jejich mnohdy obtížnou výrobu využití.

94 - Plutonium : využití na štěpení v množivých reaktorech, používá se i jako náplň do atomových bomb. Využívá se izotop  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  je nevyužitelný. Nejstabilnější izotop je  $^{244}\text{Pu}$  – jeho poločas rozpadu je 80 miliónů let. Nejjedovatější známý prvek na zemi. Smrtná dávka jsou už pikogramy (pg).

95 – Americium : výjimečně se používá ke štěpení v bombách, izotop  $^{242}\text{Am}^{\text{m1}}$  s poločasem 141 let má kritické množství jen 9 – 14 kg. ( $^{\text{m1}}=1$ . metastav – vybuzený izotop, ve vzácných případech stabilnější než normální, jeden se dokonce vyskytuje v přírodě – 1. metastav tantalu  $^{180}\text{Ta}$  s poločasem  $1.3 \times 10^{15}$  r. oproti  $^{180}\text{Tl}$  s 8 h.) Normální  $^{242}\text{Am}$  má poločas jen 16 h! Izotop  $^{241}\text{Am}$  se v malém množství dává do hlásičů kouře, ve kterých ho ionizuje alfačasticemi. Využití také jako zdroj záření v lékařství.

96 – Curium : Izotop s nejdelším poločasem rozpadu (15.7 mil. r.),  $^{247}\text{Cm}$ , má kritické množství pod 10 kg. Jde tedy uvažovat o jeho využití ke štěpení. Izotop  $^{242}\text{Cm}$  při svém alfarozpadu a (hlavně) spontánním štěpení uvolňuje hodně tepla (až 120 W/g !), šel by tedy teoreticky použit do tepelného elektrického generátoru, má však poločas jen asi 160 dní, který dlouhodobější využití (kosmické sondy) znemožňuje.

98 – Kalifornium : Izotop  $^{251}\text{Cf}$  (nejdelší poločas : 898 r.) má extrémně malé kritické množství, pod 2 kg. Může tedy být použitý k výrobě „subminiaturních“ atomových bomb, o celkové váze asi 35 kg. Kalifornium je také silný zdroj neutronů ze spontánního štěpení, používá se tedy i jako „startér“ do jaderných reaktorů.

114 Uuq – 120 Ubn – 126 Ubh : Ostrov stability : tyto transaktinidy, by měly mít stabilní (nebo alespoň s dlouhým poločasem) izotop, konkrétně s magickým počtem neutronů 184. Takže  $^{298}\text{Uuq}_{114}$ ,  $^{318}\text{Ubn}_{120}$ ,  $^{310}\text{Ubh}_{126}$  by měly být poměrně stabilní izotopy vyrobitelné (i když s velkými obtížemi) stavajícími metodami. Problém je, že pohoří (nebo údolí, záleží na tom, jak si to představíte) stability je zakřivené, a ke konci dnes známé části trochu pokroucené. Totiž když máte 2 protony, stačí mezi ně dát jen jeden neutron (stabilní  $^3\text{He}_2$ ) nebo dva a dostanete stabilnější  $^4\text{He}_2$ . U 2 nejllehčích prvků, může být víc protonů než neutronů a jsou stabilní. U další části prvků, počínaje lithiem s 3 protony a konče vápníkem s 20 protony jsou stabilní izotopy se stejným počtem protonů a neutronů (neplatí ovšem pro beryllium, fluor, sodík, hliník, fosfor, chlor, a draslík, těm proti vyrovnanému počtu přetéká 1 neutron. To se dá vysvětlit když si představíte strukturu těchto jader – například jádro beryllia  $^9\text{Be}$  je čtverec 3 x 3 (4p5n)\*. Samozřejmě i vodík a helium zapadají do této „vyrovnané“ skupiny (p=n) – izotopy  $^4\text{He}$  a  $^2\text{D}$ , avšak pro přehled jsem je nechtěl překrývat. Tyto prvky nemají jen „vyrovnané“ stabilní izotopy, avšak existují (u lehčích prvků „vyrovnané“ izotopy převažují –  $^{16}\text{O}_8$ ,  $^{12}\text{C}_6$ ..., u těžších kde jsou ještě možné už jich je i pod 1 % -  $^{36}\text{Ar}_{18}$ ). U ještě těžších prvků už jsou „vyrovnané“ izotopy silně nestabilní, u těch nejtěžších ani nejdou vyrobit (uran 184 neexistuje), protože by byly za hranicí protonové přesycenosti (to znamená, že tyto prvky mají neměřitelný poločas, nebo se spíše ani nevytvoří). Prvky za hranicí protonové přesycenosti ani neprodělají beta+ rozpad, proton rovnou vystřelí pryč, ani ho nepohlí. Na druhém pobřeží pohoří stability je neutronová přesycenost. Té zatím člověk dosáhl jen u nejllehčích prvků. To proto, že když srazíte urychlené jádra lehčích prvků, dostanete izotop těžšího s příliš nízkým počtem neutronů na to, aby byl stabilní, natož přesycený. Proto jsou na obtíž mezery mezi ostrovy stability, čím větší jsou, tím těžší je takto vyrobit stabilní izotop prvku na dalším ostrůvku stability. Řešení je neutronová hvězda nebo supernova. Tam se prvky přímo „koupají“ v neutronovém proudu, dostávají se hluboko do oceánu neutronové přesycenosti, prochází jedním beta- rozpadem za druhým, a tím vznikají prvky s mnoha protony. Pokud toto člověk nedokáže, nevyrobí stabilní izotopy těžkých prvků. Jen se dá ještě zkusit srazit těžší prvky a vytvořit jeden těžší, s mnohem více neutrony než protony a lehčí „vyrovnaný“ izotop. Ovšem neví se, jestli to jde.

-----moje teorie k nejtěžším jádrům-----

Velmi stabilní prvek mívá také „úplný“ tvar jádra, uzavřenou slupku. Podle toho by nejtěžší možný prvek měl být nejstabilnější, protože by měl všechny vrstvy uzavřené (takový závěr z ničeho neplyne. Vzhledem k elektrostatickému odpuzování protonů uvnitř jádra mají těžká jádra mnohem více neutronů, než protonů. To komplikuje zaplňování protonových slupek společně s neutronovými.) .

Dnes se sice říká těžší prvek=snadnější štěpení, ale podle globusové periodické spirály jsme teprve na jejím začátku. V extrémně těžkých prvcích může být chování jader úplně jiné, elektronů na orbitech také. Například nevyrobený [prvek 137](#) by měl mít elektrony obíhající rychlostí světla, mohl by tedy změnit náš pohled na černé díry

\* = podle mých návrhů beryllium 9 takto vychází

## 4.Průmyslové účely.

Víte, jak se upravuje křemík do fotopanelů ? Ozařuje se neutrony v jaderných reaktorech ! Takže se to bez reaktorů také neobejde !

Superčistý křemík do polovodičů atd... se ve speciálních ozařovacích kánálech v některých reaktorech ozařují neutrony ze štěpení.



## 5. Výroba prerostlých hub.

Jednou v roce 1945 v Americe vzbudila jedna babička svého vnuka, a řekla mu, ať se jde modlit. Ten den totiž vyšlo slunce na západě. První atomové slunce na poušti u Los Alamos – bomba Trinity o síle 21 kT. Výbuch 15 X překročil výpočty vědců, hřib dosáhl výše 13 km.

To byl první z několika set výbuchů, obrovského plýtvání štěpným materiálem, ve kterých se Rusko a Spojené státy předháněly, kdo jich udělá víc, a větší...

Trinity úřady zatajily jako „výbuch muničního skladu“. V témž roce pak ukončily válku 2 výbuchu nad Japonskem – Little boy (15 kT) nad Hirošimou a Fat Man (21 kT) nad Nagasaki.

Od té doby už naštěstí nebyly atomové bomby použity, byly jen testovány.

### **Jako štěpná náplň :**

se využívá především Uran s více než 95 %  $^{235}\text{U}$ , nebo Plutonium s tímž obsahem izotopu  $^{239}\text{Pu}$ . Dnes existují i typy s Kaliforniem (kritické množství pod 2 kg !), Americiem, a jinými transurany. Prvky lehčí než uran se ke štěpení v bombách nepoužívají.

(Velikost kritického množství závisí jednak na technickém provedení (obvykle se uvádí minimální kritické množství), ale hlavně na průměrném počtu neutronů, uvolněných na jeden akt štěpení.  $^{235}\text{U}$  má asi 1.07 neutronu,  $^{239}\text{Pu}$  1.2 neutronu – jestli si dobře pamatují. Atomová jádra supertěžkých prvků by mohla mít až 12 – 17 neutronů a to by mohlo představovat kritické množství asi 1 g. Takže by takové pumy šlo střílet z pistole.)

### **Jako fúzní náplň :**

se využívá Deuterium  $^2\text{D}_1$ , a Tritium  $^3\text{T}_1$ , které se přímo při výbuchu vyrábí z Lithia  $^6\text{Li}_3$  ( $n+^6\text{Li}_3 = ^3\text{T}_1 + 4\text{He}_2$ ) nebo  $^7\text{Li}_3$  ( $n+^7\text{Li}_3 = ^3\text{T}_1 + ^4\text{He}_2 + n$ ). Buď samotné kapalné deuterium (bez Lithia), nebo deuterid lithný, LiD. Těžší prvky se jako fúzní náplň nepoužívají.

Zatímco v roce 1949 si v Americe mysleli, že jsou Rusové v jaderných technologiích pozadu, 29. srpna jim z Ruska došly záběry jejich 1. atomové bomby ([zde](#)).

Pak bylo ještě mnoho výbuchů, vyberu jen 3 největší :

1. Ivy Mike (10 MT) – Spojené státy
2. Castle Bravo (17 MT) – Spojené státy
3. Car bomba (57 MT) – Rusko

Car bomba – největší výbuch, rovná se 57 000 000 000 kg TNT.

Test byl proveden na ruském ostrově Nová země, vypařil se pod ním 5.7 km široký kráter, hřib z něj byl vysoký 60 km, tlaková vlna byla znatelná až z vesmíru a třikrát obletěla celou zeměkouli. Výbuch byl vidět stovky kilometrů daleko. Ačkoli byl spád velký, byl to výbuch nejčistší ve své třídě (poměr znečištění/MT) díky chybějícímu 3. stupni – plášti z uranu  $^{238}\text{U}$  (neutronové zrcadlo), dalšímu plášti z kobaltu a jako palivo bylo jen deuterium, ne LiD.

**Celkový spád z car bomby (r. 1961) byl i v Česku 10 X až 15 X větší než z Černobyli!**

Proč se tedy „ekologové“ nezabývají spíše tím ? Přece jediné 3 věci, co z Černobyli udělaly „průšvih“, jsou :

1. Úplně nevhodný postup úřadů, které to zkoušely zatajit
2. Zveličování senzacechtivými novináři
3. Zveličování a zkreslování informací obchodníky se strachem, vedoucími „ekologů“, kteří na tom buď vydělávají, nebo tomu nerozumí.

Poznámka : Car bomba s třetím stupněm a kobaltovým pláštěm měla být vyrobena, plán byl možná zastaven. Síla by podle plánu měla být asi 1050 MT, pro obrovské znečištění z kobaltu se jí také říká „bomba posledního soudu“, protože by zničila prakticky všechny život na zemi. 1050 MT – 1 050 000 000 000 kg TNT – 1.05 GT

## 4. Historie jaderného výzkumu a výzkumu radioaktivity.

Začalo to tím, že Holandan Wilhelm Conrad Roentgen (narodil se 1845 ve městě Lenep v tehdejší Prusku, nyní Remscheid v Německu) objevil při pokusech s výbojovou trubicí (rentgenovou lampou) paprsky X, které projdou i tlustými knihami a kovem.

Vědce pak překvapil rentgenovým snímkem ruky paní Roentgenové.

Když se o objevu záhadného záření dozvěděl pařížský profesor Henri Becquerel, pospíchal do laboratoře, protože se zabýval světélkujícími minerály ze sbírky po svém otci.

Osvětloval je na slunci a pak je v temné komoře pokládal na fotodesku.

Jednou, když to chtěl zkusit s minerálem obsahujícím síran uranu a draslíku, bylo špatné počasí. Vzorčky se tedy nasvítily jen na pár vteřin. Tak vzal minerál i fotodesku, jen tak je na fotodesce položil do zásuvky a šel spát.

Příští den desku i přesto, že od toho nic neočekával, vyvolal a viděl tmavé obrysy kamenů!

Překvapen pak tentýž pokus opakoval i s jinými solemi uranu, a zase viděl tmavé obrysy kamenů!

Bylo jasné, že objevil něco zcela nového. Naštěstí byl Becquerel vědec, který nepřizpůsoboval jevy svým představám, ale přizpůsoboval svoje představy faktům.

Bez lítosti pak opustil myšlenku fosforescence, a začal s výzkumem něčeho, co bylo později nazváno RADIOAKTIVITOU. Tím celý výzkum začal.

Krátce potom se na radu svého manžela fyzika Pierra Curie začala zabývat „svítícími kameny“ Marie Curie-Sklodovská. Sehnala všechny známé prvky, vyprosila si od prof. Becquerela různé minerály. Pak objevila, že stejnou vlastnost jako uran má i thorium a nějaký, do té doby neznámý prvek, který se vyskytuje spolu s uranem a thoriem. Vynalezla vlastní chemický postup, s nímž roku 1898 objevila silně radioaktivní prvek, který na počest své vlasti pojmenovala polonium.

Ale smolinec vykazoval vyšší radioaktivitu, než by měl. Musel tam tedy být ještě další, silně radioaktivní prvek.

Tak v témž roce, 1898, objevili Curiovy ještě radium, další produkt rozpadu uranu. Zjistili však, že získat čisté radium ve viditelném množství znamená přepracovávat tuny uranové rudy – k tomu si dali z Čech přivést tunu smolince. Po dvou letech získali jen jednu desetinu gramu radia, začev v roce 1903 dostali společně s profesorem Becquerelem Nobelovu cenu za objev radioaktivity. Ale než se Marii Curie-Sklodovské podařilo získat čisté radium, trvalo to dalších 7 let. Za to dostala druhou Nobelovu cenu v roce 1911.

Dalo by se zde psát i o objevu atomů, a dalších věcech, ale na to by i 100 stran bylo moc málo.

### Objev reaktoru

Jednou pan Fermi prováděl výzkum radioizotopů tím, že ozařoval prvky.

Ale zjistil, že vzorčky „svítí“ víc, když zařízení na ozařování postaví na dřevěný stůl, než když ho položí na mramorový stůl!

Podivil se tedy, když zjistil, že průběh pokusu ovlivňuje okolí!

Vkládal tedy mezi zářič a ozařovaný materiál různé látky. Začal s olovem, které záření tlumilo. Pak vzal parafin, a...



Uran, co byl na místě ozařovaného materiálu vykázal STONÁSOBNOU radioaktivitu !!!

Za pár hodin měl ovšem vysvětlení : parafín je organická látka, takže obsahuje hodně vodíku. Jádro vodíku je proton, a jelikož je neutron skoro stejně velký a těžký, snadno se při srážce s protonem zpomalí – zpomalené neutrony mají mnohonásobně větší šanci vrazit do těžšího jádra uranu.

Pak se Fermi sám sebe ptal : „co obsahuje víc vodíku než parafín ? voda přece !“ a tak hned ozařovací zařízení s uranem ponořil do rybníčku. Velmi vysoká radioaktivita uranu po pokusu teorii s vodíkem potvrdila. Uran ale měl při ozařování jiné vlastnosti než další prvky – vědci v Německu zjistili (1938) ve vzorku uranu barium – asi o polovinu lehčí prvek než uran (dalším produktem je krypton, ten ve vzorku objevili hned potom). Zjistili tedy, že nevznikl těžší prvek, ale uran se rozštěpil !

Ale součet hmotností všech produktů štěpení je asi o 1/5 hmotnosti protonu lehčí, než jádro před štěpením – takže se vyzaří asi 200 MeV na jedno rozštěpení !

Pan Fermi v té době odcestoval kvůli obavám ze situace v Evropě do Spojených Států, kde ve výzkumu pokračoval.

Najednou si uvědomil, že při štěpení se uvolňují neutrony – za určitých okolností mohou zase rozštěpit uran – může tedy vzniknout řetězová reakce. Ale jak tedy připravit „určité okolnosti“? První „příznivé podmínky“ (...tedy reaktor) byly připraveny roku 1942 pod stadionem u univerzity v Chicagu. Vědci tehdy „vlastnoručně“ nastartovali první řízenou štěpnou řetězovou reakci ve asi čtyřmetrové hromadě z uranu a grafitu.

Kadmiové řídicí tyče byly postupně vysouvány. Na reaktoru stáli vědci (kterým ostatní žertovně říkali „sebevrazi“) s kyblíky plnými roztoku kadmiové soli – aby se dala reakce kdyžtak zastavit. Nad tím vším byl gumový balón, kterým by byl reaktor přikryt, kdyby se grafit vznítil.

Napětí by se tehdy dalo krájet – kdyby ve výpočtu byla chyba, a reakce by se příliš rozběhla, mohlo by celé město špatně dopadnout !

Pokus začal.

Měřicí přístroje ukazovaly různé hodnoty v reaktoru.  
Teplota začala stoupat...

Ve výpočtu našťestí nebyla chyba.

Reaktor se za 20 minut funkce ohřál skoro o deset °C, pak byla zasunutím tyčí reakce zastavena.

-----  
Nějakou dobu potom byl reaktor podobného stylu spuštěn v Rusku. Informace ovšem nejsou.

## **Jaderné ŠTEPENÍ a jaderná SYNTÉZA (fúze)**

Při hoření se uvolňuje asi 1 miliardtina energie hmoty.

Při štěpení už je to tisícina

Při fúzi dokonce setina

Všechna energie se uvolní při vzájemné anihilaci hmoty s antihmotou

Princip a provedení štěpení je docela jednoduché – hřib je při dostatku materiálu hotový hned – těžší je ho spolehlivě řídit a zařídit bezpečnost. To už je ale dnes zvládnuté – není čeho se obávat.

Provedení neřízené fúze je také „trapně jednoduché“ – palivo (D nebo LiD) dáte ke štěpnému výbuchu a reakce funguje. Těžší je provést řízenou – udržitelnou fúzi, vědci už jsou ovšem blízko. Bezpečnost není tak podstatná, radioaktivní tritium se vyrábí z lithia až v reaktoru a v každém okamžik je ho tam jen asi 1 miligram.

Nejtěžší je provést anihilaci – nedávno ještě jen sci-fi, ale v CERNu už vyrobili celý atom ANTIVODÍKU !

Princip štěpení je jednoduchý – do příliš těžkého jádra (nejčastěji  $^{235}\text{U}$  nebo  $^{239}\text{Pu}$ ) narazí moderátorem (voda, těžká voda, grafit, u množivých reaktorů chybí) zpomalený neutron, jádro získá hodně energie, protahuje se a deformuje, až se protáhne tak, že se části nepřitahují ale jen odpuzují, a oddělí se. Kvůli poměru p/n je tam i pár přebytečných neutronů, které vyletí ven – a po zpomalení mohou rozštěpit další atomy v jiné palivové tyči...

Regulace se provádí tyčemi z pohlcovače (berillium, karbid boritý, bor, kyselina boritá...) - u těch jde o spolehlivost řízení (ztrojené systémy ochrany, v každém je až 16 spolehlivých počítačů – ne PC!!!, z nichž každý může spustit protihavarijní ochranu).

Produkty štěpení a z menší části i neutrony, předávají chladivu (voda, těžká voda,  $\text{CO}_2$ , sodík...) svoji kinetickou (pohybovou) energii, čímž se chladivo ohřívá.

Chladivo ohřívá většinou v parogenerátoru vodu sekundáru, pára z ní pak putuje k turbíně, kde alternátor připojený na turbínu vyrábí elektřinu.

Dále pak pára jde do kondenzátoru, kde se chladí průtokem vody terciálního okruhu (často odbočky z řeky – u Temelína je to odbočka z Vltavy), pak se vrací zpět do parogenerátoru.

Terciál se chladí odparem v chladících věžích.

Jednotlivé typy reaktorů jsou popsány níže.

Anihilace probíhá takto – částice a antičástice (např. elektron  $e^-$  a pozitron  $e^+$ ) se srazí, a změně se v gama záření. Energie se pak dá využít.

## Princip elektráren

Atomová elektrárna jako základ obsahuje :

1. Reaktor
2. Řídicí centrum
3. Strojovnu s turbínou
4. Bazén na dočasné uložení vyhořelého paliva (pokud se do něj podíváte, uvidíte modré světlo – Čerenkovovo záření, existující ve vodě, skle a dalších lom způsobujících látkách, ne na vzduchu.)
5. Chladící věže
6. Odvětrávací komín (ten ovšem nevypouští radioaktivitu, jak se někteří lidé domnívají !!!)

v praxi ovšem mnohem víc věcí, od ozařovacích komůrek u některých reaktorů, až po infocentrum.

# Typy Reaktorů s vlastnostmi.

Proč velkým písmem ? Typy reaktorů jsou velmi důležité – liší se jak účinností, tak bezpečností.

## 1. VVER

2. BWR
3. RBMK
- 3.2 RGCR
4. Magnox GCR
- 4.2 AGR
5. Candu
6. HTGR
7. FBR
8. KS – 150 (A-1)

## 1. VVER

### **(vodo-vodjanoj energetičeskij reaktor – vodovodní energetický reaktor)**

Dnes ve světě nejpoužívanější reaktor, je jich asi 57 % (asi 253). Původně byl pod názvem PWR vyvinut v USA, později návrh převzali a vylepšili Rusové. Tyto reaktory jsou velmi bezpečné, protože mají záporný dutinový koeficient reaktivity. To znamená, že když se regulační tyče příliš vytáhnou a reaktor se začne zahřívat nad plánovanou teplotu, tak se kvůli bublinám páry ve vodě zhoršuje moderační schopnost reaktoru (schopnost zpomalovat neutrony) a k dalším palivovým tyčím se dostanou neutrony nezpomalené. Reaktor se tedy v tomto případě sám začne tlumit na přiměřenou teplotu – to je výhoda temelínských či dukovanských reaktorů, které jsou právě tohoto typu, oproti Černobyli, které jsou (tedy čtvrtý spíše byl...) typu RBMK a mají kladný dutinový koeficient reaktivity (viz. RBMK).

Při rychlém zahřátí reaktoru se může ale stát, že za lopatkou čerpadla vznikne snížený tlak, a začnou vznikat bublinky. Ty jednak lopatku docela namáhají, jednak je při tom čerpání neúčinné. Když je v čerpadle spousta páry, není schopno čerpat, a tak musí bezpečnostní systém začít čerpat do reaktoru studenou vodu. Tím se to urovná. Ale v Temelíně vylepšení od firmy Westinghouse vylučuje i tohle riziko.

Kvůli své vysoké bezpečnosti se používají často i do ponorek.

Palivo je  $\text{UO}_2$  (oxid uraničitý), uran v něm je obohacený izotopem  $^{235}\text{U}$  na 2.5 – 3.5 % u reaktoru VVER – 440 (Dukovany) a na 3.5 – 5 % u reaktoru VVER – 1000 (Temelín) ve formě tabletek naskládaných do zirkónio-niobových palivových proutků (trubek), které se vkládají do dlouhých šestibokých palivových kazet (312 proutků v kazetě pro VVER – 1000 a 126 pro VVER - 440). Palivo se vyměňuje 1x za 1 – 1.5 roku (při odstaveném reaktoru se nahradí 1/3 paliva). Dnes se v Dukovanech a v Temelíně zkouší místo 3letého cyklu cyklus 4. nebo 5iletý. Do kanálků uprostřed se zasouvají řídicí tyče (palivové proutky jsou kolem), řídicí tyče VVER jsou duté zirkóniové trubky, ve kterých je bór.

Tok neutronů v reaktorech VVER se také řídí pomocí kyseliny trihydrogenborité ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) rozpuštěné v chladicí vodě (množství  $\text{H}_3\text{BO}_3$  je velmi snadno a přesně regulovatelné i měřitelné). Moderátor i chladivo u VVER je lehká voda –  $\text{H}_2\text{O}$ .

Horká voda z primárního okruhu ohřívá vodu sekundárního okruhu v parogenerátoru – v tom se voda mění v „ostrou“ páru, která se dál potrubím vede do parní turbíny, připojené na alternátor (ze kterého jde elektřina do transformátoru, ve kterém se zvýší napětí a rozvádí se dál) z turbíny jde voda do kondenzátoru, kde se spirálou terciálního okruhu (chladicí věže) ochladí a zkapalní.

Pak se čerpadlem opět dostává do parogenerátoru. Reaktory VVER jsou dvouokruhové.

## **Parametry VVER – 1000 V320 :**

Reaktor :

tepelný výkon 3000 MW

elektrický výkon 981 MW (1 blok v Temelíně – celý Temelín 2X981 = 1962 MW)

výstupní napětí alternátoru : 24 kV

Aktivní zóna :

rozměry aktivní zóny 3 X 3.5 m

92 tun UO<sub>2</sub> v reaktoru

obohacení 235 – U : 3.5 – max. 5 %

maximální vyhoření paliva : 60 MWd/kg

počet šestibokých palivových kazet : 163

počet palivových proutků v kazetě : 312

počet B – Cd (bór & kadmium) řídicích tyčí : 61

System chlazení reaktoru :

počet chladících smyček : 4

pracovní tlak 15.7 MPa

tlak páry na výstupu parogenerátoru (Sekundární okruh) : 6.3 MPa

teplota vstupní/výstupní vody 289/324 °C

Chladicí věže :

počet na blok : 2

rozměry (v X pØ X kØ) : 154.8 m X 130.7 m X 82.6 m

průtok vody věží/odpar z věže : 17.2 m<sup>3</sup>/s / 0.4 m<sup>3</sup>/s

Jiné :

rozměry tlakové nádoby (vnější) 4.54 m a 10.9 m výška

účinnost : 32.7 %

## **2. BWR**

### **(Boiling Water Reactor – varný reaktor)**

Druhý nejrozšířenější typ reaktoru – dnes je jich asi 94 (asi 21 %). Moderátor i chladivo je lehká voda. Voda v reaktoru BWR ale není pod tak velkým tlakem – reaktor BWR je totiž varný (voda v něm vře).

Palivo jsou válečky UO<sub>2</sub> uspořádané do Zirkon-niobových palivových tyčí. Vyměňuje se při odstaveném reaktoru asi tak často jako u VVER.

Voda začne vřít už v aktivní zóně (jinak docela podobné té u VVER). V horní části tlakové nádoby se v separátoru pára zbaví vlhkosti a rovnou směřuje do turbíny. To, že je reaktor BWR jednookruhový, má svoje nevýhody : pára co roztáčí turbínu (a tedy i ta turbína), je radioaktivní, což ztěžuje opravy.

### **Parametry reaktoru BWR 1000 MW:**

rozměry aktivní zóny 4.5 X 3.7 m

tlak vody 7 MPa

teplota výstupní vody 286 °C

tepelný výkon asi 3000 MW

122.3 tun UO<sub>2</sub> v reaktoru

obohacení 235 – U : 2.1 – 3 %

účinnost : 33.3 %

## 3. RBMK

[\(Detailní Popis\)](#)

### **(Reaktor bolšoj moščnosti kanalnyj – kanálový reaktor velkého výkonu)**

Kdo trochu zná JE, určitě se mu s pojmem RBMK vybaví Černobyl. Ale víte o něm i další věci?

Reaktor RBMK je vlastně ruská „na truc západu“ obdoba BWR, ovšem složitější a podle mě i o něco lepší. Ovšem to, co u VVER platí o řízení reaktoru je zde naopak – když operátor u RBMK povytáhne řídicí tyč o kousek nahoru, musí ji za chvíli zasunout opět na původní výšku. Pokud to neudělá, začne se výkon zvyšovat téměř po exponenciále. To proto, že když se udělají ve vodě bublinky a voda přestane zpomalovat neutrony, tak se neutron ke svému moderátoru (grafitu) dostane rychleji. Reaktivita reaktoru začne v takovém případě růst (tomu se říká kladný dutinový koeficient reaktivity). Nakonec se reaktor přehřeje tak, že kyslík ve vodě zoxiduje grafit, přičemž vznikne vodík. Když je reaktor takovýmto způsobem přehřátý, je v něm už takový tlak, že dříve nebo později roztrhne budovu kolem sebe – a když se do přehřáté roztavené aktivní zóny s vodíkem dostane kyslík, tak to vybuchne (Černobyl tedy nebyl pravý atomový výbuch, jak si spousta lidí myslí, ale výbuch vodíku, který do okolí vyhodil 5 tun paliva – ze 114 tun v reaktoru) takže než operátorům došlo, že nesedí u simulátoru, ale na velině, měli obsah reaktoru na zahrádkách. Ale Černobyl měl původně být chloubou SSSR – měl mít 12 bloků, přičemž se z palivových tyčí skoro každý den (u RBMK není třeba reaktor odstavit) oddělovalo plutonium do atomových bomb.

Černobyl tedy sice měl asi 4000 obětí, ale kolik lidí ročně skončí zavalených v uhelném dolu? Mnohem víc. Jenže to není pro rádobyekology a obchodníky se strachem tak zajímavé. Navíc tam dnes z důvodu že ve velké oblasti kolem černobylu nejsou lidi a možná i z jiných důvodů žijí např. vlci, kanci, koně a další ohrožená zvířata která se tam navíc mají velice dobře. Jako úkryt jim samozřejmě slouží i neobydlené domy.

Reaktory RBMK se používají jen na území bývalého SSSR. Dnes se již nestaví další (i když kdo ví...\*). Palivo je přírodní nebo slabě obohacený uran (UO<sub>2</sub>) ve formě tabletek naskládaných do Zirkon-niobových palivových tyčí, moderátor je grafit, který obklopuje ocelové kanály, chladiivo lehká voda. Reaktor se vlastně skládá z (co se týče chlazení) oddělených kanálů, které mají na každém konci záklopku. Díky tomu se dají vyměňovat jednotlivé palivové soubory při spuštění reaktoru pomocí zavážecího stroje\*\*.

Z kanálů aktivní zóny jde pára do separátoru – bubnu, který pára roztáčí, přičemž skrz mřížku projde jenom pára a vlhkost odteče zpět do reaktoru. Ze separátoru pára odejde do turbíny, která musí být odstíněná kvůli radioaktivní páře, co skrz ní jde. Pak jde do kondenzátoru, kde zkapalní a zpět do reaktoru. Reaktor RBMK je jednookruhový. V Litvě v JE Ignalina jsou dokonce 2 reaktory RBMK – 1500. Kvůli vstupu do EU je prý musí odstavit. Není to podle mě dobře, reaktor RBMK je při správném zacházení dobrý stroj.

## Parametry reaktoru RBMK - 1000

Rozměry :

rozměry aktivní zóny 7X11.8m  
délka separačního bubnu : 30740 mm

Teploty a tlaky :

tlak syté páry 6.9 MPa  
teplota vstupní/výstupní vody : 270/284 °C  
průtok chladiva reaktorem : 37500 t/h

Palivo, výkony, účinnost :

114 tun UO<sub>2</sub> v reaktoru  
1693 kanálů / 36 prutů na kanál  
obohacení 235 – U : přírodní uran s 0.7 % 235 – U až slabě obohacený s 2.4 % 235 – U

tepelný výkon 3200 MW  
elektrický výkon 925 MW

účinnost elektrárny : 31.3 %

## 3.2 RGCR

### (Reaktor grafitový, chlazený radonovkou)

Reaktor RGCR je vlastně jen moje (z důvodu toho, že by se někomu nemuselo líbit mít poblíž svého domu stejný typ reaktoru jako v Černobylu – i když tenhle je tak malý, že nebezpečný pro okolí být prostě nemůže) přejmenovaná verze RBMK. Jedinou změnou je použití vody s beryliem a radonem (taková je u mě na chalupě), tyto dva prvky totiž dohromady fungují jako zdroj neutronů. Snad díky tomu odpadne potřeba kalifornia na startování reaktoru.

Tenhle typ reaktoru s moderátorem z grafitu nebo uhlí a jako palivo přírodní uran (UO<sub>2</sub>), snad začnu stavět v r. 2008 (jen doufám, že to bude fungovat)

(tento typ jsem vybral proto, že je pro mě reálné stavět jen dva typy : GCR a RBMK – jenže GCR je „suchý“ reaktor a mohl by z něj unikat prášek – a nebezpečná dávka plutonia jsou už µg...). Reaktor RGCR – 30 je jen výzkumný, bez možnosti zneužití.

### Parametry reaktoru RGCR 30 (odhadované):

rozměry aktivní zóny : průměr 12 výška 13 cm

tlak vody : kdo ví...

tepelný výkon asi 5 – 9 kW

0.5 – 0.7 kg UO<sub>2</sub> v reaktoru

obohacení izotopem 235 – U : přírodní uran s 0.7 % 235 – U



elektrický výkon : 30 W – 3 kW

chladicí okruhy : 1

počet palivových proutků : 10 – 15

hmotnost proutku : 50 – 70 g

(Je potřeba mít na paměti, že při nakládání se štěpným materiálem platí velmi přísné předpisy. Každý experiment musí být řádně zaevidován a schválen. Rovněž nelze štěpné materiály volně kupovat na trhu.)

## 4. Magn-ox GCR

**(Gas cooled, Graphite moderated reactor) (Magnox = Magnesium non-oxidising)**

Používá se nejvíce ve Velké Británii a v Japonsku. Moderátor je grafit, chladicí plyn (obvykle)  $\text{CO}_2$  a palivo přírodní kovový uran v podobě tyčí pokrytých oxidem hořečnatým ( $\text{MgO}$ ). V aktivní zóně jsou grafitové bloky, ve kterých jsou tisíce kanálů. Do každého kanálu se nad sebou dává několik palivových tyčí. Kulová ocelová nádoba reaktoru je obklopena betonovým stíněním. Palivo se vyměňuje za provozu. Plyn ohřívá v parogenerátoru normální vodu, pára z ní vzniklá pohání turbínu, ochlazený plyn pak ženou dmychadla zpět do reaktoru. Reaktor GCR je dvouokruhový.

Elektrárny GCR jsou reaktory první generace, dnes jsou už velmi zastaralé (velmi nízká účinnost). Většina GCR elektráren dnes již není v provozu. Tyto reaktory se nejvíce stavěly v letech 1955 – 1967, většina jich byla odstavena v letech 1989. až 2006. Dnes se už reaktory GCR nestaví a jen dosluhují.

### Typické parametry Magnoxu o výkonu 600 MW

rozměry aktivní zóny 17.4 X 9.1 m

tlak  $\text{CO}_2$  2.75 MPa

teplota  $\text{CO}_2$  na výstupu reaktoru 360 °C

tepelný výkon asi 1800 MW

595 tun U v reaktoru

obohacení 235 – U : přírodní uran s 0.7 % 235 – U

účinnost : 25.8 %

## 4.2 AGR

**(Advanced Gas Cooled, Graphite Moderated Reactor)**

Je to v podstatě vyspělejší a o dost účinnější verze Magnoxu s vyšší teplotou, tlakem, a obohacením. Dnes jich pracuje 12 jen ve Velké Británii. Jinde se zatím nepoužívají.

Moderátor je stejně jako u Magnoxu grafit, chladiivo  $\text{CO}_2$ , ale palivo je  $\text{UO}_2$  obohacený izotopem 235 – U. Reaktor AGR je dvouokruhový. Má velmi vysokou účinnost – ještě větší než VVER reaktory. Tento typ se tedy pravděpodobně bude v budoucnu ještě rozvíjet.

**Typické parametry reaktoru AGR o výkonu 600 MW**

rozměry aktivní zóny 9.1 X 8.5 m

tlak CO<sub>2</sub> 5.5 MPa

teplota CO<sub>2</sub> na výstupu reaktoru 450 °C

tepelný výkon asi 1500 MW

obohacení 235 – U : 2.3 – 3.5 % 235 – U

účinnost : 41 %

## 5. Candu

### (Canada DeuteriumUranium)

Pomocí reaktoru Candu se v Kanadě chěli vyhnout potřebě obohacování, které je velmi energeticky náročné. Tento typ reaktoru tedy jako palivo používá přírodní uran (UO<sub>2</sub>), a jako chladivo i moderátor těžkou vodu (D<sub>2</sub>O). Později byl vyvezen i např. do Rumunska, Argentiny, Indie, Pakistánu atd...

Nízkotlaká (!) nádoba reaktoru má tvar ležícího válce s dvouplášťovými (mezera mezi nimi je naplněná CO<sub>2</sub> kvůli tomu, aby teplo nepřešlo do moderátoru) vodorovnými trubkami, kterými protéká těžká voda (chladící). V každé trubce je 12 palivových svazků, trubek s palivem je u Candu-6 380.

Palivový svazek v Candu-6 je z 37 půlmetrových uzavřených zirkon-niobových tyčí o průměru asi 1 cm uspořádaných do soustředných kruhů ve válečku s průměrem asi 10 cm. V těchto trubkách jsou naskládány sintrované pelety z UO<sub>2</sub>.

Mezi trubkami s palivem je také těžká voda (moderátor), která ale musí být hodně chlazená, protože při zvýšení teploty se moderační schopnost rychle zhoršuje.

Chladící těžká voda v parogenerátoru ohřívá normální vodu v sekundárním okruhu, která pak pohání turbínu.

O regulaci a případné havarijní odstavení se starají tři systémy:

1. Aktivní zónou VERTIKÁLNĚ probíhající řídicí kadmiové tyče. V případě nutnosti během několika vteřin spadnou až na dno
2. 14 pravidelně rozmístěných komůrek s lehkou vodou, která v Candu reaktoru funguje jako pohlcovač neutronů. Když se některá část reaktoru začne přehřívat, kanálek s H<sub>2</sub>O v té oblasti se začne plnit. Nad vodou je v těchto trubičkách jaderně inertní Helium. Tento řídicí systém je velmi přesný.
3. Pro případ ohrožení je v reaktoru 6 vstříkovačů dusičnanu gadolinitého (Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>), který obsahuje izotopy <sup>155</sup>Gd a <sup>157</sup>Gd (podíl dohromady těchto stabilních izotopů v přírodním gadolinu je asi 30 %). Tyto izotopy jsou silný jaderný jed a tak přerostlou reakci prostě „otraví“.

Tento reaktor má na reaktor s neobohaceným palivem dobrou účinnost, avšak jeho nevýhodou je cena těžké vody (asi 10 000 Kč/l)

Vyhoření je sice proti VVER nižší, takže je třeba víc paliva, ale využití uranu až o 30 % lepší, protože v reaktoru vzniká záchytem neutronu a následnými 2 beta<sup>-</sup> rozpady z uranu 238 plutonium – 239, které se dá také štěpit. Palivový svazek se tedy dá déle využívat.

Navíc se palivo může měnit za provozu, takže jsou reaktory Candu méněkrát odstavené.

### Parametry reaktoru Candu-6 o výkonu 700 MW

Obecné :

rozměry aktivní zóny : 7 X 5.9 m

tepelný výkon 2100 MW

účinnost : 30.1 %

Teploty a tlaky :

tlak chladicí D<sub>2</sub>O : 12 MPa

teplota chladicí D<sub>2</sub>O na výstupu : 310 °C

teplota moderační D<sub>2</sub>O : 30 – 60 °C

tlak moderační D<sub>2</sub>O : max. 1 MPa

Palivo :

obohacení izotopem <sup>235</sup>U : přírodní uran s 0.7 % <sup>235</sup>U

počet vodorovných palivových kanálů : 380

maximální vyhoření paliva : 7 – 8 MWd/kg

množství paliva : 117 tun UO<sub>2</sub> v reaktoru

počet regulačních prvků :

28 Cd řídicích tyčí

14 komůrek s proměnným obsahem H<sub>2</sub>O

6 vstřikovačů neutronového jedu (Gd(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) s izotopy <sup>155</sup>Gd a <sup>157</sup>Gd

## 6. HTGR

### **(High temperature gas cooled reactor – Vysokoteplotní plynem chlazený r.)**

Tento reaktor je pro svou vysokou účinnost velmi nadějný typ. Palivo i moderátor jsou grafitové koule velké asi jako tenisový míček s asi 20 000 mikrokuličkami UO<sub>2</sub> (0.5 mm) povlčenými třemi vrstvami uhlíku a karbidu křemíku. Celkový průměr miničlánku je 0.9 mm. Má díky vysokým teplotám vysokou účinnost (až 40 %) i výbornou bezpečnost. Vysokých teplot se dá dosahovat díky grafitu, který se při vyšších teplotách nedeformuje a navíc pak slouží i jako dobrá schránka pro „svítící“ odpad. Vysokých teplot se dá používat i v továrnách a hutích, nejen k výrobě elektřiny.

V aktivní zóně jsou volně nasypány palivomoderační koule, mezi ně se zasouvají tyče regulační.

Americké provedení má místo koulí šestiúhelníkové, na sebe poskládané bloky.

Chladicí plyn u HTGR je helium, které je jaderně (nejstabilnější prvek) i chemicky (známé sloučeniny jsou jen 2 helidy rtuti) inertní, a dobře vede teplo. Teplo jako obvykle předá v parogenerátoru lehké vodě. Helium ale může být vedeno i jinam (viz výše). Právě vysoké teploty dělají reaktor bezpečný - při havárii na chlazení se tepelnou setrvačností grafitu a přirozeným oběhem helia nepřehřívá, a netlakuje po dobu min. několika hodin.

Koule paliva, které se sypou volně do aktivní zóny, se na dně postupně odvádějí.

Reaktor HTGR je vlastně i ve skutečnosti velmi jednoduchý na funkci – prostě se vedle sebe nahází dost velký počet palivových koulí, pokud to nechcete havarovat, tak se nad to dají ještě tyče řídicí a začne to reaktorovat (tohle ale nedoporučuju – tedy pokud nestojíte o to, svítit v noci a strašit ostatní).

Reaktor HTGR má kvůli vysokému obohacení malé kritické množství, ale velké vyhoření, což znamená že se palivo mění o to častěji.

### **Parametry HTGR s výkonem 1000 MW**

rozměry aktivní zóny : 5.6 X 6 m

tlak helia 4 MPa

teplota výstupního helia 750 °C – bez problému až 950 °C !  
tepelný výkon asi 2500 MW

obohacení izotopem 235 – U : Uran do atomových bomb, 93 % 235 – U

účinnost : 39 %

množství paliva : 330 kg UO<sub>2</sub> + 6.6 tuny ThO<sub>2</sub> (<sup>232</sup>Th)

## 7. FBR

### (Fast breeder reactor – Rychlý množivý reaktor)

Rychlý množivý reaktor je reaktor budoucnosti. Může kromě Plutonia <sup>239</sup>Pu a Uranu <sup>235</sup>U využívat i Uran <sup>233</sup>U, vznikající zachytem neutronu Thoriem <sup>232</sup>Th a dvěma beta<sup>-</sup> rozpady. Ke štěpení v množivém reaktoru se používají rychlé neutrony, moderátor tedy odpadá. Jako chladivo se nepoužívá voda, nejen že by nestačila tolik tepla odvádět (na každý litr objemu vzniká 10X více tepla než v normálním reaktoru), ale byl by i tam obrovský tlak a voda navíc zpomaluje neutrony. Ke chlazení se tedy používá sodík, lehký, při teplotách nad 98 °C tekutý kov, který navíc výborně vede teplo. Kvůli sodíku se ovšem musí dávat pozor na vzduch, se kterým sodík bouřlivě reaguje.

Využití Thoriumu je dobré proto, že :

1. Uranu je méně než thoria a izotop <sup>235</sup>U tvoří jen 0.7 % přírodního uranu, takže by na dlouho nevystačil (Thoria je více také proto, že nemá poločas rozpadu 4.5 mld. r. jako <sup>238</sup>U, ale 14 mld. r.)

2. Zemské jádro je z thoria.

A Plutonia proto, že :

1. Jde snadno vyrobit z Uranu <sup>238</sup>U

2. Uranu <sup>238</sup>U je hodně

Palivo se do tohoto reaktoru dává ve formě –ičitého oxidu, samozřejmě. (PuO<sub>2</sub>, ThO<sub>2</sub>, UO<sub>2</sub>)

Během provozu reaktor vyrobí více paliva, než spotřebuje (ozařování neutrony). Aktivní zóna má navíc plodivý plášť z Uranu <sup>238</sup>U (nerezocelové trubky s UO<sub>2</sub>).

Tento reaktor je díky tomu, že sodík v něm je pod bodem varu (jeho bod varu je přes 900 °C), a tedy při malém tlaku velmi bezpečný. Pro jistotu se ještě přidává mezi chlazení AZ\* a sekundár ještě jeden okruh sodíku.

Palivová směs PuO<sub>2</sub>/UO<sub>2</sub> se ve formě válečků vkládá do nerezocelových trubek.

Sodík v AZ proudí kvůli speciálnímu sodíkovému čerpadlu, předává teplo sodíku sekundárního okruhu (již neaktivního), a ten své teplo předává v parogenerátoru vodě terciálního okruhu, která roztáčí turbínu. Největší FBR elektrárna v provozu je 600 MW 3. blok typu BN – 600 v Bělojarsku. Dříve byla ve Francii ještě větší, o výkonu 1240 MW nazvaná Superphénix, bohužel v r. 1998 uzavřená.

### Parametry FBR o výkonu 1300 MW

rozměry AZ vč. plodivého pláště : 3.1 X 2.1 m

tlak Sodíku primáru 0.25 MPa

teplota výstupního Sodíku : 545 – 620 °C

tepelný výkon asi 2600 MW

31.5 t směsi PuO<sub>2</sub>/ UO<sub>2</sub> v reaktoru  
obohacení izotopem 239 – Pu nebo 233 – U : 16.6 – 22 %

účinnost : 42 %

## **KS – 150 (Pro elektrárnu A-1)** **(jinak také HWGCR)**

Asi si říkáte, co to KS – 150 znamená. Je to speciální Československý reaktor, na světě je jen 1. Byl vyvíjený v Československu, zrealizován jen v Jaslovských Bohunicích na Slovensku, uzavřen však byl v roce 1979 kvůli havárii (ovšem opět vinou lidí).

Byl vyvinut na neobohacený Uran, podobně jako třeba Candu.

Palivo je váleček přírodního kovového Uranu, potaženého slitinou Hořčíku a Beryllia – to je palivový proutek. Palivový soubor je z asi 70 takových proutků.

Aktivní zóna je ve válcové nádobě ze slitiny hliníku. Ta je naplněna moderátorem - těžkou vodou (D<sub>2</sub>O), ve které procházejí kanály pro palivo. Každý kanál obsahuje 1 palivový soubor, který chladí oběh chladiva (CO<sub>2</sub>) v kanálu. Chladicí plyn poháněný dmychadly předává v parogenerátoru teplo vodě, pára pak pohání turbínu.

Konstrukce tlakové nádoby umožňuje výměnu paliva za provozu. Moderovací těžká voda samozřejmě musí být chlazená, stejně jako u Candu.

Při jedné z havárií se palivový článek změnil v raketu – vystřelil, prorazil střechu a vyletěl. Dva lidé u reaktoru našťestí kanál utěsnili a zabránili úniku.

### **Parametry KS – 150 (A – 1) o výkonu 103 MW**

obecné :

23.1 tun UO<sub>2</sub> v reaktoru  
obohacení 235 – U : přírodní Uran s 0.7 % 235 – U  
účinnost : 18.5 %  
tepelný výkon 560 MW  
asi 40 řídicích tyčí

rozměry :

rozměry aktivní zóny 3.56 X 4 m  
rozměry reaktoru : 20.1 X 5.1 m

teploty a tlaky :

tlak chladícího CO<sub>2</sub> na výstupu 5.4 MPa  
teplota výstupního plynu 426 °C  
teplota moderační těžké vody 65 °C  
tlak moderovací těžké vody maximálně asi 1 MPa

## **Výhody jaderných elektráren.**

1. Jsou mnohem bezpečnější než jakékoli jiné

2. Jsou menší v poměru k výkonu než jakékoli jiné
3. Jsou nejčistší
4. Při produkci energie se navíc dá provádět užitečné ozařování
5. Jsou nejlevnější
6. Do ovzduší z nich neuniká NIC

- To jsou jen největší z výhod, kterých je ještě mnohem víc

## Proč dávat pozor na lidi aneb Černobílé se neosvedčily...

Bylo 25. dubna, těsně před svátkem 1. Máje, pokus (který se ovšem měl provádět již před 2 lety, než byl reaktor spuštěn) musel být kvůli „splnění plánu výroby elektřiny“ odložen o 9 hodin.

Dostala se tedy k němu nepříliš kvalifikovaná noční směna.

Tak kvůli pokusu odstavili havarijní ochranu – aby se nezapnula, když neměla.

Jenže při příliš nízkém výkonu reaktoru, se vytvořil beta rozpadem jodu  $^{135}\text{I}$  (poločas 6.7 hodin) radioaktivní xenon  $^{135}\text{Xe}$  (poločas 9.14 hodin, beta- na  $^{135}\text{Cs}$  beta- na  $^{135}\text{Ba}$ ).

Normálně se xenon  $^{135}\text{Xe}$  pohlcením neutronu mění na  $^{136}\text{Xe}$  – který neutrony neovlivňuje.

Při odstaveném reaktoru se sice vytvoří, ale malý neutronový tok ho nezmění.  $^{135}\text{Xe}$  je v reaktoru nejvíc asi za 12 hodin po odstávce.

Xenon 135 je silný neutronový jed – jeho průměr pro pohlcení neutronů v barnech – (pohlcovač bór má 750, uran  $^{235}\text{U}$  549)

je celých 3 500 000 ! – tento „dokonalý“ pohlcovač reakci tedy úplně „zduší“

A jak byl reaktor na méně než 1 % výkonu, bylo v něm příliš  $^{135}\text{Xe}$  a  $^{149}\text{Sm}$  – tak na vysunování tyčí nereagoval.

Pracovníci noční směny ale o Xenonu nevěděli – tak vytáhli skoro všechny řídicí tyče (což bylo přísně zakázané).

203 tyčí je už znatelný rozdíl, tak výkon zvolna začal stoupat...

...Postupně se tedy výkon zvýšil až na 500 MW – dokonce si operátoři mysleli, že je chod stabilní...

Pak pokus začal. To, že se v reaktoru vytvořila z vody pára, způsobilo zvýšení toku neutronů, který zlikvidoval jediný pohlcovač v aktivní zóně –  $^{135}\text{Xe}$  (když není v RBMK voda, neutrony se dostanou k moderátoru – grafitu – rychleji...) – tak výkon – a tedy i řetězová reakce – extrémně stoupl. Překročil 100 % tepelného výkonu – 3200 MW – jako nic, a dále rostl...

...za chvíli byl výkon 35 000 MW (1100 % normálního)...

Pak si teprve vedoucí směny uvědomil, že udělal chybu. Vyhlásil nejvyšší poplach 5. stupně, a dal pokyn k havarijnímu zasunutí tyčí.

To však mělo chybu – jednak kanály byly vlivem teploty křivé, jednak na spodku řídicích tyčí není pohlcovač, ale grafit – takže když se v křivých kanálech zasekl grafit, výkon začal stoupat ještě rychleji...

S tímto stavem se ale nepočítalo...

...Výkon během chvíle dosáhl 350 000 MW (11000 % normálního)

...Také páry bylo ohromné množství – tlak rostl o 15 atmosfér (asi 1.5 MPa) za vteřinu...

Takový tlak reaktor nevydržel a roztrhl se. Takže do něj vnikl vzduch.

Pára, která se dostala na do ruda rozžhavený grafit, a pomocí zirkoniových trubek s palivem se rozložila na vodík (kyslík zoxidoval grafit) – ten ve směsi se vzduchem explodoval.

A uprostřed toho zmatku stáli v rozbořeném řídicím sále dva z vedoucích směny a pokřikovali na ostatní, že se nic neděje, že je reaktor v pořádku, že nejsou žádné problémy.

Někteří lidé z obsluhy regulační tyče zasouvali do zničeného reaktoru ručně...

Na likvidaci se pak celkově podílelo 750 000 lidí – navzdory očekávání je mezi nimi menší úmrtnost, než je ukrajinský průměr...



## Likvidace

Největším problémem bylo, že úřady zkoušely havárii prvních několik dní zatajit.

3. blok, který je vedle čtvrtého, lehce poškozený výbuchem, byl sice odstaven kvůli riziku požáru, avšak až 4 HODINY po havárii čtvrtého !

Nejnebezpečnější izotopy jako např. jód  $^{135}\text{I}$ , mají velice krátký poločas rozpadu ( $^{135}\text{I}$  jen 6.7 hodiny,  $^{135}\text{Xe}$  9.1 hodiny, atd...), takže největší nebezpečí bylo problémem několika hodin až dnů.

A úřady místo okamžitého vystěhování lidí, rozdávání jódových tablet\*, a podobných opatření přemýšlely, jestli zatajit ano, nebo ne...

\*když má člověk jódu dostatek, nepřijímá ze vzduchu ten radioaktivní

... dokonce za celý měsíc se ještě vojenská návštěva domnívala, že povalující se kusy grafitu (silně radioaktivní, což ovšem nevěděla) jsou nepořádkem ze stavby 5. bloku...

Dnes se již v Černobyli dá bez rizika bydlet – radioaktivita je jen 35 mSv (milisievertů) ročně, ve „svítícím“ lese asi 75 mSv ročně.

V Česku je roční průměr asi 4 mSv, u mě na chalupě o něco více (je tam hodně uranu), roční limit pro pracovníka s radiomateriály je 50 mSv, avšak v Ramsaru v Íránu je průměr 400 mSv ročně, tedy asi 6x více, než ve „svítícím“ lese – a lidé tam žádné nemoci z ozáření nemají.

Abych dokázal bezpečnost českých reaktorů, příkládám 2 své příhody :

1. V Temelíně na informačním středisku mají gama – detektor. Návštěvníci z blízkého okolí elektrárny si naměřili asi 65 gama fotonů za asi 10 vteřin, kamarád asi 89, a já, jen díky přírodní radioaktivitě jsem si naměřil dokonce 119 gama fotonů.

2. V Řeži u reaktoru LR – 0 (zrovna byl otevřený) byl Geigerův počítač. Celou dobu ukazoval 290 jednotek (nevím přesně kterých, myslím ze Bq – 1 becquerel = 1 rozpad za vteřinu). Pak jsem se naklonil nad alfa-beta detektor, abych si ho mohl pořádně prohlédnout, a zachvilku když jsem se podíval na stupnici, ukazoval 340. – a to i přesto, že jsem od detektoru byl asi 20 cm, takže na něj dopadla jen část záření...

**Pro informaci ještě přidávám výpověď svědka z Černobyli, Alexandra Juvčenka, který havárii přežil (tohle, a ještě mnohem více najdete na [progmaxi.wz.cz](http://progmaxi.wz.cz)):**

*Jak jste se dostal pracovat do Černobyli?*

*Vybral jsem si to. Byla to jedna z nejlepších elektráren v bývalém Sovětském svazu, bydlení na krásném místě, a byl jsem zde na praxi při svém studiu. A také mi nabídli dobré peníze. Být jaderným inženýrem bylo v té době velmi prestižní, dnes lidé chtějí být spíš byznysmani nebo právníci.*

*Co jste dělal v době výbuchu?*

*Měl jsem noční směnu. Když jsem přišel do práce, zjistil jsem, že test, který se měl dělat ve dne byl přesunut na večer. Reaktor byl odstavený a tak jsme ho měli jen hlídat, jak se ochlazuje. To je velmi nenáročná práce. Myslel jsem, že to bude docela klidná noc.*

*Co jste právě dělal, když došlo k výbuchu?*

*Byl jsem v kanceláři a probíral s kolegou nějaké dokumenty a schémata.*

*Co se stalo?*

*Nejprve nebyl výbuch, ale zemetřesení. Výbuch přišel po dvou, třech sekundách. Dveře kanceláře*

se vyvalily. Připomínalo to demolici starých domů, všude strašná spousta prachu, ale teké páry. Byl to mohutný nápor vlhkého prachu a páry. Všechno se třásl a věci padaly na zem. Pak zhaslo světlo. Naše první myšlenky byly na to, kde se ukrýt. Utekli jsme do transportní chodbičky, kde bylo místo se sníženým stropem. Stáli jsme tam a okolo nás se všechno bořilo.

Co jste si mysleli, že se děje?

Když jsem uslyšel dunění, myslel jsem, že na nás něco spadlo. Pak jsem nevěděl. Možná začala válka.

Napadlo vás, že to mohl být reaktor?

Vůbec by mě nenapadlo si to dávat do souvislosti s reaktorem. Před tím, než se to stalo, nebyly žádné vibrace, ani zvuky ani žádné jiné příznaky, že je něco v nepořádku. Byli jsme připraveni na různé krizové situace. Jako inženýři jsme byli školeni v tom, co se může a nemůže s reaktorem stát a co se může porouchat. Byli jsme připraveni na oheň a jiné věci, ale na tohle jsme připraveni nebyli. Mysleli jsme, že bezpečnostní opatření jsou spolehlivá a že když stisknete nouzové tlačítko, jak to v onu noc kolega Leonid Toptunov udělal, že se zasunou regulační tyče a vše se zastaví, jak by člověk očekával. Ale tak to, bohužel, nebylo. Lidé dělají chyby, ale my jsme mysleli, že bezpečnostní opatření to zachrání. Prostě jsme věřili návodu k obsluze.

Co jste dělal po explozi?

Vrátil jsem se do kanceláře a volal na řídicí sál, co se děje, ale telefon byl hluchý. Najednou zazvonil telefon z 3. bloku. Dostal jsem příkaz přinést nosítka. Popadl jsem je a utíkal. Cestou jsem potkal kolegu, který byl blíž k výbuchu. Nepoznal jsem ho. Měl černé šaty a tvář znetvořenou, protože byl celý od horké vody. Poznal jsem ho po hlase. Poslal mne na místo exploze, kde byli ranění. Měl o ně starost, tak jsem vzal baterku a utíkal hledat kolegy poblíž velkých chladících nádrží.

A našel jste?

Doběhl jsem tam, kde jsem očekával, že bude, ale všude byly jen ruiny. Našel jsem ho na druhé straně, podařilo se mu odplazit pryč. Vypadal stejně: mokrý, špinavý a vážně popálený. Stál a celý se třásl v těžkém šoku. Posílal mne tam, kde došlo k výbuchu, kde byl i kolega Valerja Chotěmčuk. Ale on nemohl vidět, že tím směrem nic není. Jen prázdný prostor.

Co bylo dál?

Spatřil jsem Jurije Treguba, kterého poslal Djatlov, zástupce hlavního inženýra, z řídicího sálu bloku 4, aby manuálně pustil do reaktoru havarijní tlakovanou vodu, která ho zaplaví. S vědomím, že to sám nezvládne, jsem nasměroval raněného kolegu k místu, kde se mu dostane pomoci a šel s Tregubem pustit chladící vodu.

A podařilo se?

Nedostali jsme se ke kohoutům. Nádrže byly v hale vedle reaktoru a vedly k nim dvoje dveře. Ty první nešly otevřít kvůli závalu a zdeformovaným zdím a tak jsme šli o pár pater níže k těm druhým dveřím. Byli jsme ve vodě po kolena. Dveře otevřít nešly, ale viděli jsme škvírou jen samé ruiny. Nádrže se vypařily. Byla jen zeď a dveře doleva. Zírali jsme do prázdného prostoru.

Obrazně řečeno?

Vyběhli jsme ven podívat se, co se vlastně stalo. Byl to strašný pohled. Co se dalo, bylo zničeno. Chladicí systém totálně v prdeli ... Pravá strana reaktorového sálu úplně v prdeli ... jen nalevo čouhaly nějaký trubky. Došlo mi, že Chotěmčuk musí být mrtev. Místo, kde měl být, bylo v ruinách. Obrovská čerpadla sice stála, ale všude okolo jen rumiště. Musel tam být někde pod tím pohřben. Z místa, kde jsme stáli, bylo vidět veliký paprsek světla z reaktoru do nekonečna nad ním. Bylo to jako laser. Vznikalo to ionizací vzduchu. Bylo to světlo modré a vypadalo to nádherně. Pár sekund jsem se na to díval. Kdybych tam stál pár minut, asi bych pravděpodobně zemřel na místě, protože úroveň gama záření, neutronů a všeho ostatního, co se dralo ven, byla obrovská. Ale Tregub mne zatáhl za roh. Byl starší a zkušenější.

*Co jste dělali potom?*

*Utíkali jsme na řídicí sál bloku 4, ale jsme narazili na tři pracovníky, které poslal Datlov do reaktorové haly ručně zasunout řídicí tyče. Tregub pokračoval do řídicího sálu bloku 4 ohlásit, co jsme viděli, a já šel s nimi zasunout ty tyče. Říkal jsem jim, že ten příkaz, co dostali, nemá smysl, poněvadž žádný reaktorový sál už není a je velmi nepravděpodobné, že budou nějaké řídicí tyče. Řekli mi na to, že jsem to viděl jen zespod a že se půjdou přesvědčit svrchu.*

*Uvědomovali jste si, jak nebezpečné to bylo?*

*Ano.*

*Co se stalo potom když jste přišli do reaktorového sálu?*

*Vyšplhali jsme na římsu, ale bylo tam málo místa. Protože jsem šel poslední, zůstal jsem držet dveře. Půjčil jsem jim baterku a poslouchal, co říkali, když vešli dovnitř a hleděli do chřtánu jaderného vulkánu. Nakonec uznali, že tam nic nenadělají a že musí rychle pryč.*

*Co se potom stalo těm třem?*

*Zemřeli velmi náhle. Ta zeď a dveře mi zachránily život. Dostal jsem vysokou dávku, když jsem ty dveře držel. Museli jsme udělat všechno, co bylo potřeba. A nejhorší byl pocit, že nebylo nic, co by se mělo dělat ... ???*

*Kdy se vám udělalo špatně?*

*Asi ve tři hodiny, hodinu a půl po výbuchu.*

*Jak jste se cítil?*

*Začal jsem se cítit nemocně. I když jsem věděl, že první příznaky nemoci z ozáření jsou nevolnost a zvracení, přemýšlel jsem, jestli jsem nesnědl něco špatného. Na ty nejhorší věci jsem chtěl nemyslet. Půl hodiny po výbuchu jsem potkal člověka s dozimetrem. Měl ochranný oblek, takže jsem nepoznal, kdo to je. Zeptal jsem se ho na stav. Ukázal mi přístroj - ručička šla za roh. To mě vyděsilo. Nedalo se říct, jaká je úroveň radiace, ale určitě byla hodně veliká. Do místní nemocnice jsem nastoupil v 5 ráno, večer nás vezli do Moskvy.*

*Myslel jste, že tam umřete?*

*Nejhorší bylo tam ležet a slyšet jak jeden po druhém umírají. Čekal jsem, kdy přijdu na řadu. Nejsem věřící člověk a neznám žádné modlitby, ale tenkrát jsem se každý večer modlil, abych se ráno zase probudil.*

*Jak vás léčili?*

*Byla to velmi intenzivní, náročná léčba na kterou jste museli být silní. Neustále mi měnili krevní plazmu. Pár měsíců jsem žil z cizí krve. Potom se objevily nádory z radiace. Měl jsem mnoho popálenin. Za pár měsíců to už vypadalo, že budu žít. Tělo si začalo vytvářet potřebné látky samo. Už jsem nepotřeboval transfúze. Ale pořád jsem byl nadopovaný morfiem. Moje žena Nataša říkala, že jsem ztratil hodně tělesné váhy a vypadal jako umírající. Říkala, že jsem mluvil pomalu a tiše, ale zachoval si čistou hlavu. Rozuměl jsem, co se děje.*

*Co vám dávalo sílu žít?*

*Dobře mě léčili a byl jsem přirozeně silný a zdravý. Vždyť mi bylo 24 let.*

*Stále fyzicky trpíte?*

*Musím mít transplantace kůže a pořád se mi objevují nádory. Bez těch spálenin by to ale nebylo tak zlé.*

*Jak si vás lidé v Rusku váží?*

*O tom nechci mluvit. Nechci, aby to lidé věděli. Dostal jsem dvě medaile, jednu za hrdinství v onu noc a druhou 10 let poté, ale to dostal každý. Snažím se žít obyčejný život. Moji sousedé to o*



a spousty dalších využití.

Odpad může roztržít reaktor ADTT – protonovým dělem se ostřeluje terčik z roztaveného olova, to uvolňuje neutrony, a ty tříští různé těžší atomy. Z těch se vlivem změny p/n poměru při zmenšení protonového čísla Z uvolňují až desítky neutronů, díky kterým je reaktor ADTT podkritický (nemůže vzniknout řetězová reakce), takže i bezpečnější. Protonové dělo spotřebuje asi 20 % vzniklé energie, zbylých 80 % se může využít.

Možná že vzniklá jádra budou tak lehká, že se budou dát použít i k fúzi...

Takovýto cyklus je rozhodně „obnovitelnější“ než větrníky – vždyť na stavbu určitého výkonu se u nich spotřebuje 6x více betonu než na stejný výkon JE! A toho šrotu z nich...

...Navíc větrníky pracují jen někdy a výkon kolísá. Také zabíjí ptáky a hyzdí krajinu...

Sluneční elektrárny na Sahaře mají také trhlínu – kde vezmou řeku na chlazení? Vždyť každá elektrárna pracující s teplem potřebuje chladicí věže – uhelná, jaderná, sluneční...

A zanášení (i poškozování) pískem z bouří. A ty náklady na tolik zrcadel...

Vodní elektrárny ma také smysl stavět jen někde – dokazují to Tři soutěsky – ty zabraňují samočištění řeky Jang-tse', do které přitéká ročně několik miliard tun odpadů.

Takže nejen zanášení, ale i jedovatá voda, sesuvy půdy...

Celkem bylo a bude třeba vystěhovat skoro 10 miliónů lidí, to je skoro tolik, jako je lidí v Česku.

- Také to je jedna z příčin vyhynutí jednoho z mála druhů říčních delfínů...

...Přitom by všechny tyto nevhodné elektrárny nahradilo pár jaderných bloků :

Tři soutěsky – 18 200 MW = 14 množivých bloků Superphénix 1400 MW

Všechny větrné i sluneční elektrárny = asi 5 – 10 bloků 1000 MW\*

\*možná ani to ne.

Větrné i sluneční elektrárny nedokáží nahradit ty velké, vhodné jsou jen jako doplněk na pár málo míst s extrémním množstvím těchto živlů, či na samotu (asi 1 dům nebo 2 domy), několik km od elektrovedení...

Vždyť všechny současné větrné i sluneční elektrárny poskytují světu jen 0.06 % elektrického výkonu !

- a aby Spojené Státy mohly 100 % napájet elektřinou větrné elektrárny, musely by jimi zastavět celý stát Texas !

Z těchto údajů jde vyvodit jen jeden závěr :

**Budoucnost patří jaderné energii !**

## **Mýty, polopravdy a odpovědi**

1. Odvětrávací komín JE vypouští radioaktivitu.

- nevypouští, v podstatě jen funguje jako ventilace a jako vyrovnávač případného podtlaku či přetlaku.

2. Chladicí věže znečišťují vodu

- neznečišťují, čistírna vod je u Temelína proto, že ve vodě je určité množství nečistot, které se odparem zahustí.

3. JE ozařují okolní obyvatele

- ne, obyvatelé ozařuje hlavně radon (35 %) **přírodního původu**, kosmické záření (10 %), **další** přírodní pozadí (20 %), radioaktivita v lékařství – rentgen, atd... (15 %) a vnitřní ozáření (19 %) – ze zbyvajících 1 % tvoří úniky z JE jen 0.006 %. Zbytek z tohoto procenta tvoří spad z bomb.

4. U JE se nedaří zvířatům.

- je to přesně naopak. Za plotem Temelína je hodně králíků (mají tam klid), před plotem na polích můžete někdy spatřit neobvykle mnoho dravců

U Černobylu díky nepřítomnosti člověka zase žije hodně ohrožených i běžnějších zvířat jako vlci, kanci, nebo vzácní divocí koně.

Je to zvláštní, ale nejen kvůli klidu se zvířatům u JE daří. Možná kvůli teplu z chladících věží, ale přesně se to neví.

5. Temelín je stejný jako Černobyl.

- není, Černobyl je typ reaktoru RBMK (viz. Typy reaktorů – RBMK), a Temelín je mnohem bezpečnější typ VVER ! (viz. Typy reaktorů – VVER)

6. Provoz JE je drahý.

- není, naopak je jejich provoz ze všech elektráren (včetně „obnovitelných“) nejlevnější.

7. Provoz JE je k životnímu prostředí nešetrný.

- pokud jde o šetrnost, jsou mnohem šetrnější než např. uhelné, ropné, větrné nebo některé vodní.

8. Neví se, co z odpadem z JE

- ví se, co z odpadem. Dnes je již dobře známá (asi 60 let) technologie přepracování „odpadů“ z JE. On ten „odpad“ totiž není odpad – obsahuje 1 %  $^{235}\text{U}$ , 95 %  $^{238}\text{U}$ , 1.5 %  $^{239}\text{Pu}$ , 1 % těžších prvků (transuranů), a jen asi 2 – 3 % jsou vysokoaktivní, nevyužitelné izotopy.

Avšak jestli se začnou používat reaktory ADTT, stanou se i ty 3 % využitelné – a navíc ADTT dokáže dále spotřebovat 99.5 % zplodin v něm vznikajících. Pak z reaktoru vyjdou jen **(stále) stabilní**, lehké prvky.

- To vyvrací poslední argumenty ekologů proti JE.

## Shrnutí

Smutnou pravdou je, že ekologové protestují proti jaderným elektrárnám, protože o nich nemají dost informací, nebo je mají zkreslené.

V této práci jsem se tedy snažil alespoň stručně objasnit jejich funkci a princip. Doufám, že po přečtení této nezkraslené práce budete mít k JE kladnější přístup.

Využití jaderné energie je jedinou šancí, jak při výrobě elektřiny neničit naši krásnou modrozelenou planetu – proto rozhodně potřebují podporu.



## **Zdroje nebo další informace :**

Podívejte se do : Ústav jaderné fyziky Řež, Infocentrum JE Temelín.

Knihy : Feynmanovy přednášky z fyziky, fragment (ISBN 80-7200-405-0). Velká kniha o energii,

L.A. consulting agency (ISBN 80-238-6578-1). Jádro, academia (ISBN 80-200-1025-4)

Internet : [www.csvts.cz/cns/](http://www.csvts.cz/cns/), [proatom.luksoft.cz](http://proatom.luksoft.cz), [progmaxi.wz.cz](http://progmaxi.wz.cz),

A opravdu, taková věc, jako že se vypouštěl jaderný odpad do jezera, které vyschlo, odpad se zahustil, stal se kritickým a začal reagovat... (150 gigacurie – 3x větší únik než Černobyl)  
... Se může stát jedině v Rusku.